جغرافیا و جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و یکم، بهار ۱۳۹٦

صص ٤٤- ۱۹

DOI: 10.22067/geo.v6i3.60760

بررسی اثر عنصر بارش بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی- مکانی خشکسالی (مطالعه موردی: دشت مشهد در حوزه آبخیز کشف رود)

سمیرا نورمحمدی[۱]- کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

سیدمحمد تاجبخش- استادیار آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

هادی معماریان- استادیار آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹٥/۹/۱٤ تاریخ تصویب: ۱۳۹٦/۲/۲۷

چکیده

عوامل مختلف طبیعی و انسانی در چند دهه اخیر باعث ایجاد شرایط بحرانی و افت سطح آب‌های زیرزمینی در بیشتر حوزه‌های آبخیز کشور از جمله استان خراسان رضوی شده است. در این تحقیق از تکنیک‌های تحلیل سری-های زمانی‌مان-کندال و پتیت برای تحلیل روند شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص خشکسالی آب زیرزمینی PSI در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۳-۱۳٦۳) حوزه آبریز دشت مشهد استفاده شده است. جهت تحلیل مکانی وقوع خشکسالی هواشناسی و ارتباط آن با خشکسالی آب زیرزمینی نیز از روش‌های زمین آمار و تحلیل نقطه داغ استفاده گردید. نقشه‌های میان یابی شده شاخص SPI نشان داد که در سال‌های ۷۹-۷۸ تا ۸۰-۷۹، ۸٥-۸٤، ۸۷-۸٦، ۹۰-۸۹ و ۹۳-۹۲ حوزه آبریز مطالعاتی عمدتاً در طبقات فروخشک و خیلی خشک قرار می‌گیرد؛ اما نتایج تحلیل سری زمانی شاخص SPI در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه اندرخ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست؛ بنابراین حوزه آبخیز مشهد – چناران حداقل در طی سه دهه اخیر تغییرات تدریجی محسوسی را در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه تجربه نکرده است. تغییرات تدریجی سری زمانی شاخص PSI در چاه‌های مشاهداتی قاسم‌آباد، کلاته نادر، مسکران، نومهن و هاشم‌آباد غیرمعنی-دار و در بقیه چاه‌ها (۳٥ چاه) معنی‌دار می‌باشند. شاخص PSI در همهٔ چاه‌ها به‌جز بلوار تلویزیون دارای روند کاهشی است. نقشه‌های پهنه‌بندی نیز نشان می‌دهند که شاخص PSI در دشت مورد مطالعه از سال‌های ٦٤-۱۳٦۳ تا ۷۹-۱۳۷۸ بیشتر در شرایط نرمال قرار گرفته و از سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ هر چه به سمت حال حاضر پیش می‌رویم در طبقه شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. نتایج تحلیل همبستگی بین دو شاخص SPI و PSI نشان می‌دهد که در اکثر موارد و سال‌ها ارتباط ضعیفی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی وجود دارد و نمی‌توان ارتباط معنی-دار قوی بین این دو پدیده در دشت ارائه کرد. همچنین بر اساس تحلیل سری‌های زمانی دبی سالیانه آب مهم‌ترین

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٦٦٥۹۹۳۹٦ Email: samiranoormohamadi70@gmail.com

رودخانه‌های تغذیه کننده (که نشان دهنده روندی غیر معنی دار در دوره مطالعاتی است) باز هم نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه برقرار نمود. سطح آب زیرزمینی دشت مشهد–چناران از سال ۱۳٦٤ تا ۱۳۹۳ بیشتر از ۲۵ متر افت را تجربه کرده که بیشترین آن در بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ بوده که بالغ بر ٦ متر افت مشاهده شده است. تعداد حفر چاه در طول این چهار سال ۱۰٥٤ حلقه است که بیشترین میزان حفر چاه را در طول دوره آماری نشان می‌دهد؛ بنابراین برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را می‌توان عامل اصلی افت سطح سفره در دشت مشهد معرفی کرد.

کلیدواژه‌ها: افت سطح آبخوان، تحلیل سری زمانی، خشکسالی، میان یابی، SPI، PSI.

۱. مقدمه

منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین منابع آب به شمار می‌روند که شناخت صحیح و بهره‌برداری اصولی از آن‌ها می‌تواند در توسعه پایدار فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی یک منطقه، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش بسزایی داشته باشد (نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۸۹) عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از این مناطق خسارت جبران‌ناپذیری مانند افت شدید و غیرقابل‌برگشت سطح آب زیرزمینی، کاهش دبی چاه‌ها و قنوات، تغییرات الگوی جریان آب زیرزمینی مانند پیشروی جبهه‌های آب شور را به دنبال خواهد داشت (نادریان-فر و همکاران، ۱۳۸۹). بدین منظور یافتن اثرات بارندگی و بررسی تغییرات آن بر روی سطح آب زیرزمینی ضروری است (خان[1] و همکاران،۲۰۰۸: ۱۷۷–۱۵۹). یکی از چالش‌هایی که بشر با آن روبرو است مسئله تغییر اقلیم و مشکلات ناشی از آن می‌باشد که تغییر اقلیم، تغییر در آبدهی رودخانه‌ها و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی را به دنبال خواهد داشت (مساعدی و همکاران،۱۳۸۹). در این میان استفاده از تحلیل سری‌های زمانی می‌تواند به تشخیص تغییرات اقلیمی و اثر آن‌ها بر روی منابع آب کمک شایانی نماید. یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (بروکس و همکاران،۱۹۸۲: ٤۱۲)[2]. جهت تحلیل روند سری-های زمانی به‌صورت زمانی و مکانی و بررسی اثر اقلیم بر روی افت منابع آب زیرزمینی تحقیقات زیادی در دنیا انجام شده که در این میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ژانگ[3] و همکاران (۲۰۰۸: ٤٤)، الگوی مکانی و زمانی مقادیر حداقل و حداکثر تراز آب زیرزمینی در ناحیه دلتای رودخانه پرل چین را با روشمان– کندال[4] و روش پیش سفید کردن مان–کندال شناسایی کردند. آن‌ها گزارش کردند

1 Khan
2 Brooks, C.E.P. and Camthers, N
3 Zhang
4 Mann-Kendall

که در قسمت بالایی دلتا روند تغییرات تراز آب زیرزمینی کاهشی و در قسمت‌های میانی و پایینی آن افزایشی است. در مطالعه‌ای دوبوی[1] و همکاران (۲۰۱۲: ۱۶۵۰-۱۶۳۵) بـه تجزیـه‌وتحلیـل زمـانی- مکـانی رونـد سـطح آب‌هـای زیرزمینی در دلتای رود سرخ ویتنام پرداختند. تجزیه‌وتحلیل سطح آب‌های زیرزمینی به‌صورت سالانه نشـان داد کـه ۳۵ درصد از چاه‌ها در آبخوان آزاد روند نزولی را نشان می‌دهند، درحالی‌که ۲۱ درصد دارای روند افزایشی هستند. از سوی دیگر سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان محصور روند رو به پائین را تقریباً در تمام مکان‌هـا نشـان مـی‌دهـد. وثوقی و همکاران (۲۰۱۳: ۵۵۹-۵٤۷) به تجزیه‌وتحلیل روند آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های ناپارامتری در دشت اردبیل پرداختند. در این مطالعه روند تراز آب زیرزمینی ۳۲ چاه پیزومتـری در مقیـاس ماهانـه در دوره آمـاری ۱۳۸۷-۱۳٦۷ با آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در همه ایستگاه‌هـا (بجـز ٤ ایستگاه) تراز آب زیرزمینی دارای روند منفی است و در بیش از ۷۲ درصد ایستگاه‌ها روند منفـی معنـی‌دار مشـاهده شد. بررسی شیب خط روند نشان داد که به‌طور متوسط تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل حدود ۱۸ سـانتی‌متـر در سال افت دارد. چاودهوری[2] و همکاران (۲۰۱٤: ٤۹۰-٤۷۹)، به بررسی روند بلند مـدت (۲۰۱۰-۱۹۳۰) سـطح آب‌-های زیرزمینی ناشی از اثرات خاک، پوشش زمین و آب در تگزاس پرداختند. در این مطالعه جهت شناسایی الگوهای مکانی تغییرات از روش‌های آماری و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[3]) استفاده شد. مشاهدات نشان مـی‌دهـد کـه سطح آب‌های زیرزمینی در سال ۱۹۳۰ که حدوداً ١٤ متر بود به ۳٦ متر در سال ۲۰۰۰ کاهش یافته است و این روند کاهش سطح آب زیرزمینی در سراسر تگزاس مشاهده می‌شود. وجود این روند نشان می‌دهد که کشت آبـی از علـل عمده در کاهش سطح آب زیرزمینی در مقایسه با افزایش شهرنشینی در تگزاس می‌باشد. صفائی و همکاران (۱۳۹۲)، به مقایسۀ شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI[4]) با شاخص بارش استاندارد (SPI) در آبخـوان کوهپایـه- سگزی با استفاده از GIS پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بـه دلیـل طـولانی بـودن فراینـد نفـوذ و تغذیـه آب‌هـای زیرزمینی ناشی از بارش، فاصله زمانی بین این دو شاخص به لحاظ وضعیت بحرانی وجـود دارد. مقـدم و همکـاران (۱۳۹۱) به بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد بـا اسـتفاده از سیسـتم اطلاعـات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که پایین دست حوزه مشهد با توجه به تجمع کشاورزی و روستانشـینی بـه یـک ناحیه بحرانی به لحاظ کیفیت آب تبدیل شده است.

تاکنون شاخص‌های متعددی برای پایش پدیدۀ خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی پیشنهاد شـده اسـت. از جمله شاخص شدت خشکسالی پالمر PDSI[5] که توسط پالمر (۱۹٦٥: ٤٥) ارائـه شـده و مفهـوم اساسـی آن بـر

1 Du Bui
2 Chaudhuri
3 Geographical Information System
4 Ground water Resource Index
5 Palmer Drought Severty Index

اساس دما و بارش و همچنین رطوبت خاک استوار می‌باشد. شاخص ذخیره آب سطحی SWSI[1] توسط شافر و دزمان[2] (۱۹۸۲: ۱۷۵–۱٦٤) که مفهوم اصلی آن همان مفهوم شاخص پالمر است با این تفاوت که در این شاخص ذخیره آب موجود در برف مورد توجه و تأکید قرار گرفته است. و شاخصSPI توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳: ۱۸۳–۱۷۹) که بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید وتنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص عنصر بارندگی می‌باشد. این شاخص را می‌توان در مقیاس‌های زمانی ۳–٦–۱۲–۲٤ و ٤۸ ماهه محاسبه کرد که از مهم‌ترین شاخص‌های آب زیرزمینی شاخص منبع آب زیرزمینی GRI است که به وسیلهٔ مندیسینو[3] و همکاران (۲۰۰۸: ۳۰۲–۲۸۲) و شاخص حالت پیزومتریک PSI[4] توسط کنفدراسیون هیدروگرافی اسپانیا در سال ۲۰۰۵ ارائه شد. توانایی شاخص SPI در ارزیابی تأثیر خشکسالی هواشناسی بر روند تغییرات آب زیرزمینی (شاخص‌های GRI و PSI) در بسیاری از مطالعات انجام شده داخل و خارج کشور اثبات شده است (معماریان و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲۲۲–۱۲۰۷؛ وردی پورآزاد و همکاران، ۱۳۹۳؛ رضوانیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ یاسمنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ ایمانی و همکاران،۱۳۹۰؛ شکیبا و همکاران، ۱۳۸۹؛ شهید و هازاریکا[5]، ۲۰۰۹: ۲۰۰٦–۱۹۸۹؛ مندسینو و سناتور، ۲۰۰۸: ۳۰۲–۲۸۲؛ خان و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۷–۱۵۹؛ جان[6] و همکاران، ۲۰۰۷: ۳٦۰–۳٤۸).

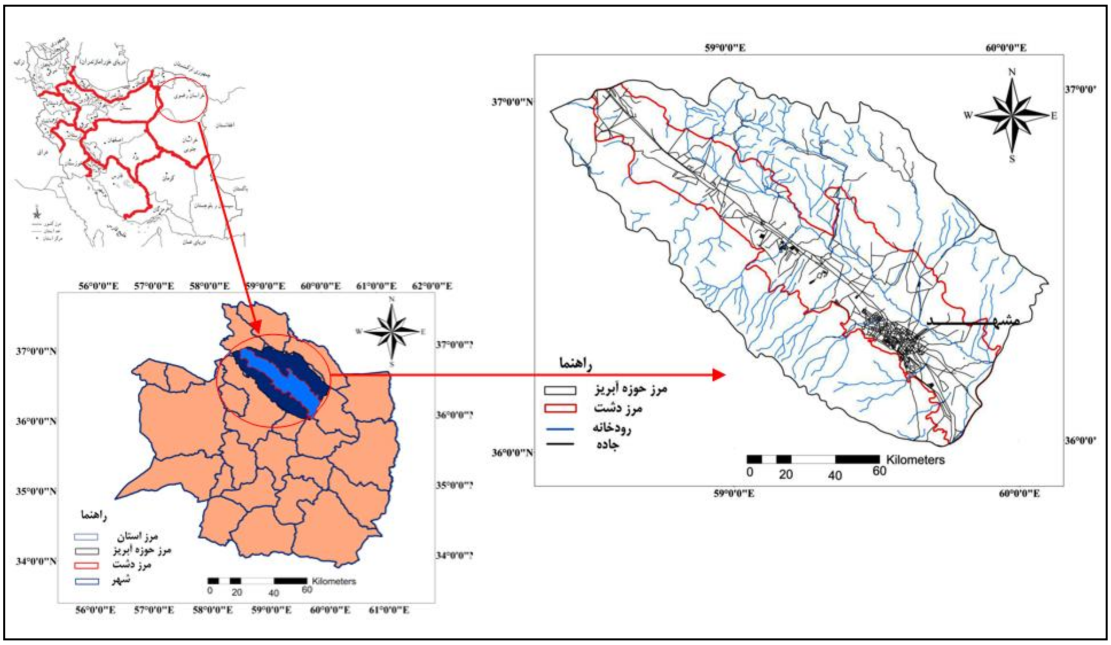
در این مطالعه تلاش می‌شود که با توجه به ضرورت و جایگاه دشت مشهد در تأمین منابع آبی ساکنان آن به تحلیل سری‌های زمانی مربوط به متغیرهای بارش و سطح آب زیرزمینی این دشت پرداخته شود. دشت مشهد یکی از بزرگترین و مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی است. این دشت علاوه بر تأمین آب مورد نیاز کشاورزی به مقدار بیش از ۱/۵ میلیارد متر مکعب در سال، تأمین کننده آب شرب شهرهای مشهد، چناران، شاندیز و طرقبه نیز می‌باشد. رشد سریع جمعیت همراه با توسعه کشاورزی در دهه‌های اخیر سبب برداشت بی‌رویه و فشار بر منابع آبی این دشت شده است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق این است که به ارزیابی اثرات خشکسالی هواشناسی بر روند تغییرات منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های آماری خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی به صورت زمانی و مکانی بپردازد.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. منطقه مطالعاتی

1 Surface Water Supply Index
2 Shafer & Dezman
3 Mendicino
4 Piezometric State Index
5 Shahid and Hazarika
6 Jan

دشت مشهد–چناران در محدوده زیرحوزه کشف رود یکی از زیرحوزه های حوزه آبریز قره‌قوم بوده که در شمال استان خراسان رضوی، در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و۲۰ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳ دقیقه واقع شده است. وسعت کل حوزه حدود ۹۹۰۹ کیلومتر مربع است که ٦١٢٠ کیلومترمربع آن را ارتفاعات و ۳۷۸۰ کیلومترمربع بقیه را دشت تشکیل می‌دهد (ترشیزیان و همکاران، ١٣٨٦). سازندهای مختلف زمین شناسی از دوران پرکامبرین تا اواخر دوران سوم در این حوزه یافت می‌شود. رسوبات دوران چهارم زمین شناسی که آب‌خوان دشت را تشکیل داده از مواد فرسایش یافته و حمل شده این سازندها می‌باشند (مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). آب و هوای منطقه برّی و متنوع است، دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد. میزان نزولات جوی در ارتفاعات ودر سطح دشت تفاوت زیادی دارد ولیکن مقدار متوسط آن در سال ۲۵۰ میلیمتر گزارش شده است (ترشیزیان و همکاران، ١٣٨٦). در دشت مشهد سطح آب زیرزمینی بخصوص در دهه اخیر بتدریج پایین رفته و با کسری مخزن مواجه شده است. به همین دلیل از سال ١٣٧٤ همراه با افت منابع آب زیرزمینی، این دشت از طرف وزارت نیرو جزو دشت‌های ممنوعه اعلام گردید (لشگری‌پور و همکاران، ١٣٨٤).



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲. ۲. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

به منظور بررسی اثر عوامل اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی – مکانی ابتدا داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های موجود، داده‌های دبی آب و داده‌های سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه

با مراجعه به سازمان‌های هواشناسی کشور، تحقیقات منابع آب (تماب)، آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، برای دشت مشهد گردآوری شد. دوره آماری مشترکی برای داده‌های بارندگی و سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳٦۳-۱۳۹۳ تعیین شد که در کل ۱۹ ایستگاه بارندگی با توجه به پراکندگی در دشت و حوزه‌های اطراف با دوره آماری تعیین شده باقی ماند و ٤۰ چاه مشاهده‌ای با دوره آماری تعیین شده با پراکندگی مناسب انتخاب گردید. همچنین داده‌های دبی آب برای ۱۰ ایستگاه هیدرومتری مهم تغذیه کننده دشت در دوره ۱۳۹۲-۱۳٦۲ انتخاب گردید.

در واقع با توجه به طول دوره آماری موجود ایستگاه‌ها یک دوره شاخص ۳۰ ساله (٦٤-۱۳٦۳ تا ۹۳-۱۳۹۲) جهت هماهنگی طول دوره آماری انتخاب گردید. خلاء های آماری با استفاده از ماتریس همبستگی واستفاده از روابط همبستگی بین ایستگاه‌های مجاور با یک رژیم آب وهوایی مشابه ودارای بیش‌ترین ضریب همبستگی تکمیل و بعضاً تا دورۀ شاخص تطویل گردید (ایستگاه‌های آبقدفریزی، زشک خراسان، سرآسیاب شاندیز، چناران و دهانه اخلمد با یک سال نقص آماری).

۳.۲. روش انجام مطالعه

در این تحقیق جهت ارزیابی اثر بارندگی و خشکسالی هواشناسی بر سطح سفره و خشکسالی آب زیرزمینی منطقه از تکنیک‌های تحلیل سری‌های زمانی‌مان-کندال و پتیت استفاده شده است. جهت تحلیل مکانی وقوع خشکسالی هواشناسی و ارتباط آن با خشکسالی آب زیرزمینی نیزاز روش‌های زمین آمار و تحلیل نقطه داغ[1] استفاده گردید.

در این مطالعه، ابتدا تابع خودهمبستگی[2] (جاویدی صباغیان و شریفی، ۱۳۸۸) در سری زمانی محاسبه و سپس تحلیل روند داده‌هایی که دارای خودهمبستگی معنی دار در سری زمانی می‌باشند به روش حامد و رائو[3] (۱۹۹۸: ۱۹٦-۱۸۲) انجام شد. در روش حامدورائو اثرات همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی مورد استفاده قرارمی‌گیرد که ضرایب خودهمبستگی آن‌ها در یک یا چند مورد معنی دار باشد (ترابی و امام قلی‌زاده،۱۳۹٤: ۱۵۱-۱٤۳).

در مرحله بعد تغییرات تدریجی سری زمانی به روش مان-کندال که جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش-های ناپارامتریک تحلیل روند به شمار می‌رود محاسبه شد. این آزمون ابتدا توسط Mann (۱۹٤۵: ۲۵۹-۲٤۵) و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. در این روش ابتدا تک تک مشاهدات با یکدیگر مقایسه شده و اختلاف آن‌ها محاسبه می‌گردد. پس از اعمال تابع علامت و استخراج

1 Hot Spot
2 Autocorrelation function
3 Hamed & Rao

پارامتر S، واریانس پارامتر S محاسبه شده و آماره Z در سطح معنی دار α بدست می‌آید (معماریان و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲۲۲–۱۲۰۷؛ زارع ابیانه و همکاران،۱۳۹۱: ۱۹۰–۱۷۳).

در این مطالعه، آزمون مان–کندال برای سطوح اعتماد۹۵٪ و ۹۹٪ بکار گرفته خواهد شد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۹۰–۱۷۳).

به منظور تشخیص نقطه تحول در سری‌های زمانی، روش‌های متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در این تحقیق از روش غیرپارامتری پیشنهاد شده توسط پتیت[۱] (۱۹۷۹: ۱۳۵–۱۲۶) استفاده شد. این روش زمان وقوع تغییر معنی‌دار در میانگین سری‌های زمانی را مشخص می‌کند. آماره آزمون $U_{t,N}$ می‌باشد که بر اساس این آماره مشخص می‌شود آیا دو مجموعه نمونه $X_1,\ldots,X_t$ و $X_{t+1},\ldots\ldots,X_N$ از یک جامعه آماری هستند یا خیر (گائو[۲] و همکاران،۲۰۱۲: ۳۲۳۱–۳۲۱۹؛ معماریان و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۲۲۲–۱۲۰۷).

جهت استخراج شدت خشکسالی آب زیرزمینی از شاخص حالت پیزومتریک[۳] (PSI) استفاده شد که توسط کنفدراسیون هیدروگرافی اسپانیا در سال ۲۰۰۵ ارائه شد. این شاخص از مقادیر میانگین، بیشترین و کمترین داده-های سطح آب زیرزمینی در محاسبات خود استفاده می‌کند (طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

شاخص بارش استاندارد[۴]**(SPI)** نیز **که** در سال ۱۹۹۳ توسط مک‌کی[۵] و همکاران (مارتین‌واید و گومز[۶]، ۱۹۹۹: ۵۵۵–۵۳۷) ارائه شد به منظور تعریف و پایش خشکسالی هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت. از نظر ریاضی شاخص SPI بر مبنای احتمالات تجمعی بارندگی‌ها در یک ایستگاه استوار می‌باشد که مقادیر مثبت و منفی شاخص SPI به ترتیب نشان دهنده شرایط تر و خشک می‌باشد (معماریان و همکاران، ۲۰۱٦: ۵۵٤–٥٤۱؛ اژدری مقدم و همکاران، ۲۰۱۲: ۷۲–٦۱؛ باکنلی و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۵٤–۱٤۳؛ رازیی و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۵–۲۵). در این مطالعه شاخص خشکسالی SPI با استفاده از نرم افزار خشکسالی DIP[۷] برای ۱۹ ایستگاه با دوره آماری ۳۰ ساله محاسبه گردید و سپس تحلیل نوع روند و خودهمبستگی و تغییر نقطه تحول با استفاده از XLSTAT انجام شد.

1 Pettitt
2 Gao
3 Piezometric State Index
4 Standard Precipitation Index
5 McKee
6 Martin-Vide& Gomez
7 Drought Indices Package

در این مطالعه بمنظور میان یابی و تهیه نقشه سطح از روش وزن‌دهی عکس فاصله[1] (IDW) (جهانی و دلبری، ۱۳۸۸؛ واتسون و فیلیپ[2]، ۱۹۸۵: ۳۲۷–۳۱۵)، به دلیل خطا و پیچیدگی کمتر (مانند عدم نیاز به تحقق مفروضات آماری مانند توزیع نرمال) (حسنی پاک، ۱۳۹۲) نسبت به دیگر روش‌ها، استفاده شد و برای استخراج نقاط حدی به لحاظ شاخص‌های SPI و PSI از روش تحلیل نقاط داغ[3] (میشل[4]، ۲۰۰۵: ٤۵) بهره گرفته شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. محاسبه شاخص SPI

نتایج تحلیل سری زمانی شاخص SPI در دوره زمانی ۱۳۹۳–۱۳٦۳ نشان می‌دهد که تغییرات تدریجی موجود در تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه اندرخ در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست. درنتیجه می‌توان اظهارداشت که حوزه آبخیز مطالعاتی حداقل در طی سه دهه اخیر (۳۰ سال اخیر) تغییرات محسوسی را در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی تجربه نکرده است.

جدول ۱ نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته شاخص SPI ایستگاه‌های حوزه آبخیز مشهد- چناران

ایستگاه	MK تست روند			ایستگاه	MK تست روند		
	Tau	P-value	Trend		Tau	P-value	Trend
آبقد فریزی	n.s.۰,۰۷٤	۰,۵۸	↑	امام زاده میامی	n.s.–۰,۰۹۷	۰,٤۸۷	↓
ارداک بند ساروج	n.s.–۰,۱٤۳	۰,۲۷٦	↓	گلمکان	n.s.۰,۰۷۱	۰,۵۹۲	↑
اندرخ	*–۰,٤۹	۰,۰۰۰۱	↓	کلات منار	n.s.–۰,۲٤۲	۰,۰٦۳	↓
اریه چهار باغ	n.s.۰,۰۷٦	۰,۵٦۸	↑	مارشک	n.s.–۰,۱۳٦	۰,۳۰۱	↓
بهمن جان علیا	n.s.۰,۰۹٤	۰,٤۷۵	↑	اولنگ اسدی	n.s.–۰,۱٤۳	۰,۲۷٦	↓
چناران	n.s.۰,۱۳٦	۰,۳۰۱	↑	سنگ دیوار	n.s.۰,۰۲۱-	۰,۸۸۷	↑
دهانه اخلمد	n.s.۰,۰۷٦-	۱	↓	سرآسیاب	n.s.۰,۰۰۹	۰,۹۵۷	↑
دیزبادبالا	n.s.۰,۰۳۲	۰,۸۱۷	↑	ینگجه آبشار	n.s.–۰,۰۲۸	۰,۸٤٤	↓
دولت آباد خرم دره	n.s.۰,۲۳-	۰,۰۷۷	↓	زشک	n.s.–۰,۰۲۳	۰,۸۷۲	↓
امام زاده رادکان	n.s.–۰,۰۷۱	۰,۵۹۲	↓				

*: معنی دار در سطح ۵ درصد؛ n.s.: غیر معنی دار

نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر در سری زمانی شاخص SPI ایستگاه‌های هواشناسی دشت مشهد در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی

1 Inverse Distance Weighted
2 Watson and Philip
3 Hot spot Analysis
4 Mitchell

شاخص SPI در ایستگاه‌های اندرخ و دولت آباد خرم دره در سطح پنج درصد معنی دار است که نقطه تغییر آن‌ها سال ۷۷–۱۳۷٦ می‌باشد. در بقیه ایستگاه‌ها نقطه تغییر معنی داری در سطح پنج درصد مشاهده نشد (جدول ۲).

جدول ۲ نتایج حاصل از آزمون پتیت در سری زمانی شاخص SPI ایستگاه‌های هواشناسی حوزه آبخیز مشهد–چناران

T	Shift	P	K_T	ایستگاه	T	Shift	P	K_T	ایستگاه
–	–	n.s.۰,٦۱٦	٦٤	امام زاده میامی	–	-	n.s.۰,٦۱٦	٦٤	آبقد فریزی
–	-	n.s.۰,۷۰٤	۵۹	گلمکان	–	-	n.s۰,۵۱۵	٦۷	ارداک بند ساروج
–	-	n.s.۰,۱۰۵	۱۰٦	کلات منار	۷۷–۱۳۷٦	↓	*۰,۰۰۰۱	۱۹٦	اندرخ
–	-	*۰,۳۹٤	۷۷	مارشک	–	-	n.s.۰,۹٤۵	٤۲	اریه چهار باغ
–	-	n.s.۰,۳۱۵	۸۳	اولنگ اسدی	–	-	n.s.۰,٦۰۱	٦۵	بهمن جان علیا
–	-	n.s.۰,۵۲۷	٦۹	سنگ دیوار	–	-	n.s.۰,۲۰۸	۹۲	چناران
–	-	n.s.۰,۸۰۲	۵۳	سرآسیاب	–	-	n.s.۰,۹۲٤	٤۲	دهانه اخلمد
–	-	n.s.۰,۸۸۳	٤۸	ینگجه آبشار	–	-	n.s.۰,۹٦۵	٤۰	دیزباد
–	-	n.s.۰,۸۱۵	۵۲	زشک	۷۷–۱۳۷٦	↓	*۰,۰۳۲	۱۲۵	دولت آباد خرم دره
					–	-	n.s.۰,٦٦۷	٦۱	امام زاده رادکان

*: معنی دار در سطح ۵ درصد؛ n.s.: غیر معنی دار

۳. ۱. ۲. پهنه‌بندی و تعیین نقاط داغ شاخص SPI

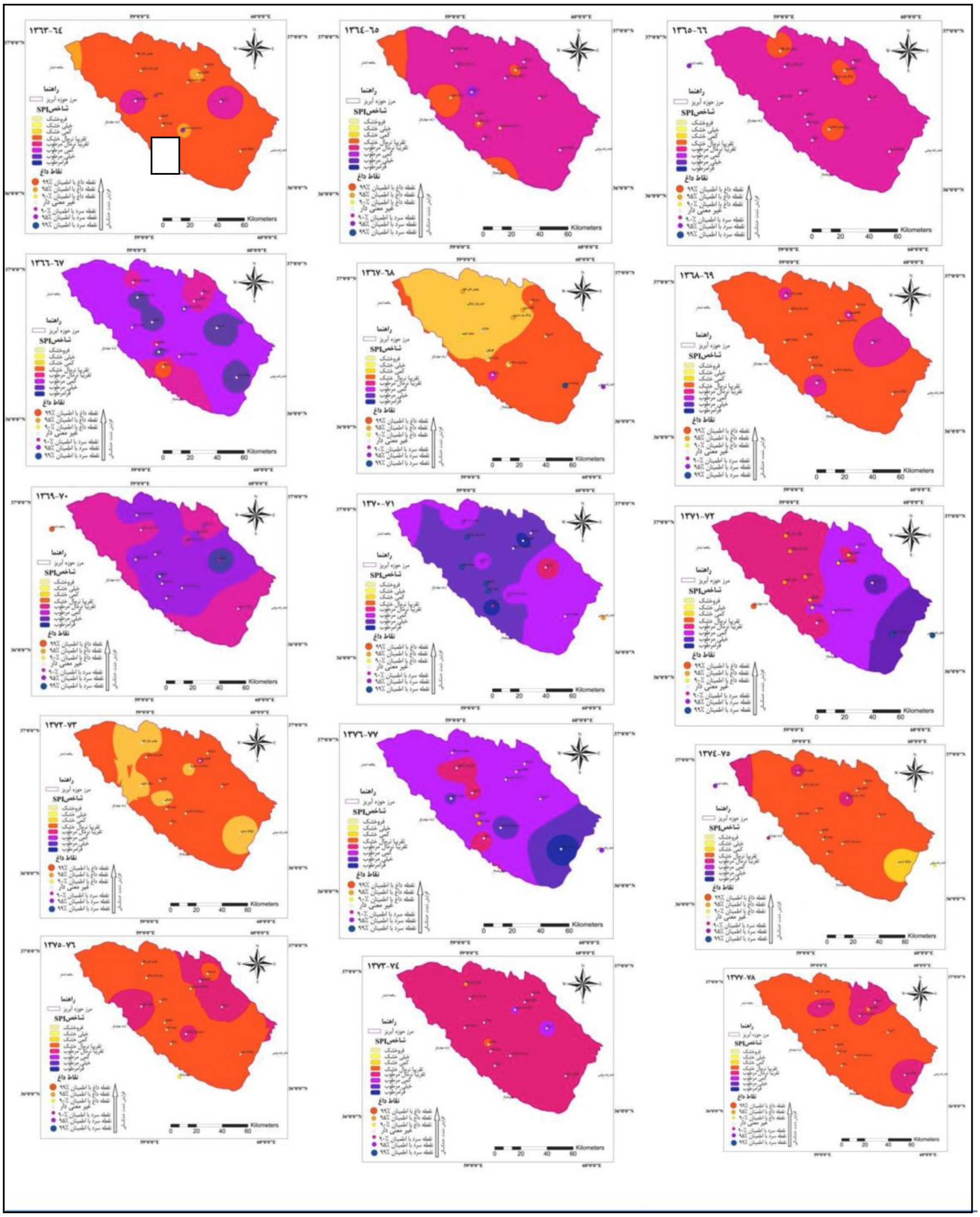
در شکل (۲) نقشه‌های پهنه‌بندی شده شاخص SPI در دوره آماری بروش IDW نشان داده شده است.

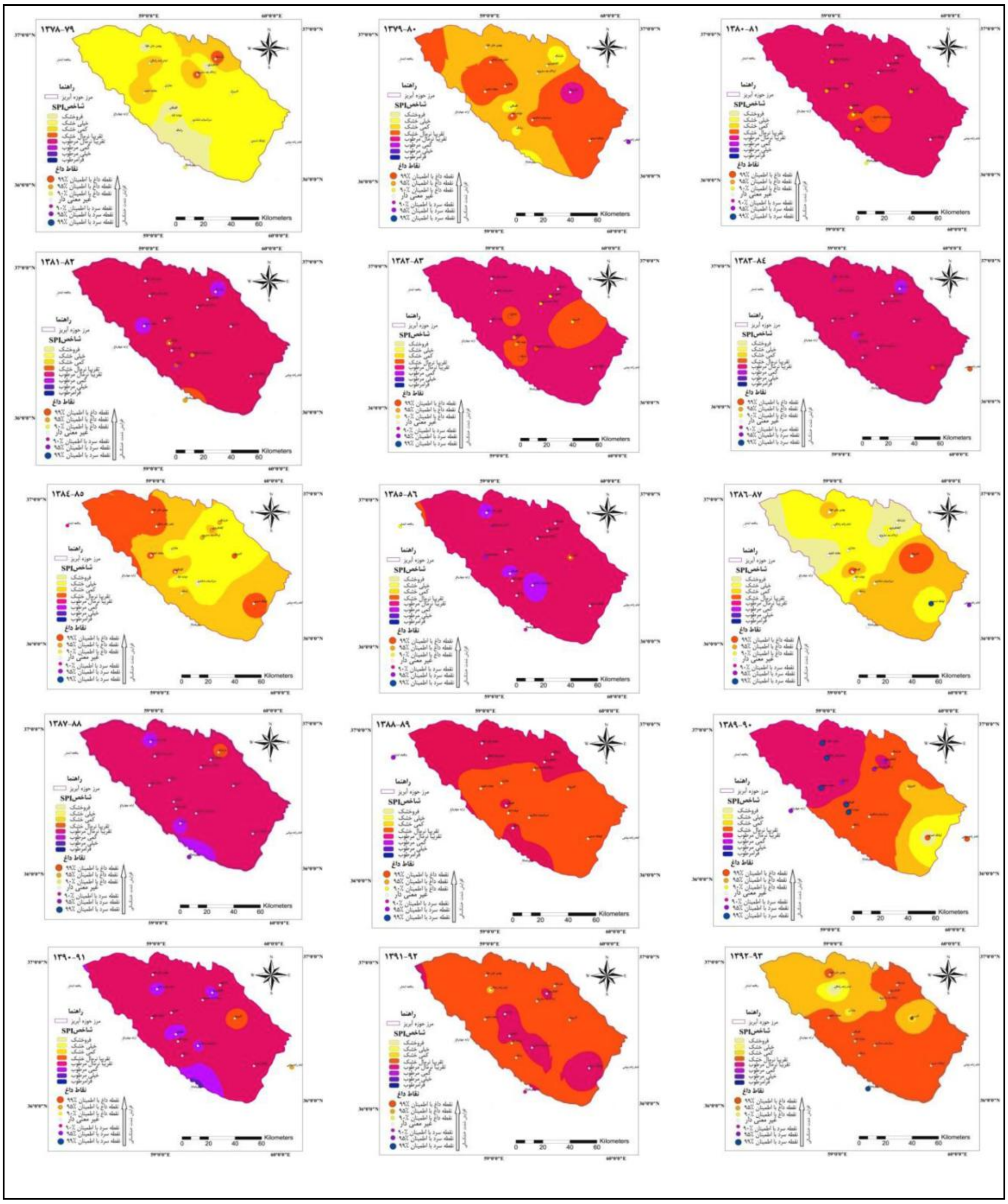
همان طوری که در راهنمای نقشه نیز مشاهده می‌شود نقاط داغ در هشت طبقه قرار دارند. با افزایش شدت خشکسالی نقاط داغ با اطمینان ۹۹ درصد و هرچه به سمت فرامرطوب پیش می‌رویم نقاط سرد با اطمینان ۹۹ درصد دیده می‌شوند. بررسی این نقاط در نقشه‌ها می‌تواند در طبقه بندی و مرزبندی اقلیمی منطقه به لحاظ شاخص خشکسالی هواشناسی کمک شایانی نماید. همچنین براحتی می‌توان ایستگاه‌هایی را که در محدوده‌های حدی[1] (فروخشک یا فرامرطوب) قرار می‌گیرند از سایر ایستگاه‌ها تفکیک نمود که نمونه آن را می‌توان در نقشه‌های میان یابی شده مربوط به سال‌های ۷۲–۷۱، ۷۵–۷٤، ۸٤–۸۳ یا ۹۰–۸۹ مشاهده کرد.

نقشه‌های میانیابی شده شاخص خشکسالی SPI نشان می‌دهند که این شاخص در سال‌های٦٤–٦۳ تا ۷۰–٦۹، ۷۳–۷۲ تا ۷٦–۷۵، ۸۱–۸۰ تا ۸٤–۸۳، ۸٦–۸۵، ۸۸–۸۷ تا ۸۸–۸۹ و ۹۱–۹۰ تا ۹۲–۹۱ در بخش زیادی از منطقه مطالعاتی عمدتاً در فاصله بین شدت‌های خشکسالی کمی خشک تا کمی مرطوب متغیر می‌باشد. در سال‌های ۷۱–۷۰، ۷۲–۷۱ و ۷۷–۷٦ بخش زیادی از منطقه مطالعاتی وضعیت خیلی مرطوب و فرامرطوب را تجربه کرده

1 Extreme boundaries

ولی در سال‌های ۷۹-۷۸ تا ۸۰-۷۹، ۸۵-۸۴، ۸۷-۸۶، ۹۰-۸۹ و ۹۳-۹۲ حوزه آبریز مطالعاتی عمـدتاً در طبقـات فروخشک و خیلی خشک قرار می‌گیرد.





شکل ۲ نقشه‌های میان یابی شده شاخص SPI به روش IDW در دوره آماری ٦٤-١٣٦٣ تا ۹۳-۱۳۹۲ دشت مشهد-چناران

۳. ۲. محاسبه شاخص PSI

جدول (۳) معنی‌دار و غیرمعنی‌دار بودن سری زمانی پیوسته شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی را در سطح پنج درصد نشان می‌دهد. تغییرات تدریجی در چاه‌های مشاهداتی قاسم‌آباد، کلاته نادر، مسکران، نومهن و هاشم‌آباد غیرمعنی‌دار و در بقیه چاه‌ها معنی‌دار می‌باشند. همان طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید همهٔ چاه‌ها بجز بلوار تلویزیون دارای روند کاهشی می‌باشند و چاه مشاهداتی بلوارتلویزیون دارای روند افزایشی است. که یکی از دلایل آن می‌تواند بدلیل عدم توسعه طرح‌های فاضلاب باشد که در نتیجه بار مضاعف ناشی از پساب به سفره آب زیرزمینی منتقل شده و شرایط بالا آمدگی موضعی سطح آب زیرزمینی در این مناطق را مهیا کرده است (گرجستانی و همکاران،۱۳۹٤). در طی سال‌های اخیر نیز یک مؤلفه به بیلان آب حوزه کشف رود اضافه شده و آن هم انتقال آب از سد دوستی می‌باشد که با توجه به تأثیر انتقال آب بر مثبت شدن بیلان، افزایش تراز آب را در برخی از چاه‌های مشاهداتی از جمله بلوارصدا و سیما شاهد هستیم.

جدول۳ نتایج تحلیل روند سری زمانی پیوسته شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی مورد مطالعه در دشت مشهد - چناران

ایستگاه	MK تست روند			ایستگاه	MK تست روند		
	Tau	P	Trend		Tau	P	Trend
بحرآباد	-۰,۳۸٤*	۰,۰۰۳	↓	قره جنگل	-۰,۹٤۷*	۰,۰۰۰۱	↓
بلوار تلویزیون	۰,٤۷۳*	۰,۰۱۱	↑	قره چاه	-۰,۸۱۳*	۰,۰۰۰۱	↓
تخم مرز	-۰,۹۱۱*	۰,۰۰۰۱	↓	قزل حصار	-۰,۸۷۵*	۰,۰۰۰۱	↓
تنگل شور – مرغ یردک	-۰,۹۹۵*	۰,۰۰۰۱	↓	قلعه ساختمان	-۰,٥٦۲*	۰,۰۱۳	↓
جیم آباد	-۰,۹۸۹*	۰,۰۰۰۱	↓	قوزقان	-۰,٥۳۲*	۰,۰۲۱	↓
چمگرد	-۰,۹۷۰*	۰,۰۰۰۱	↓	کبیر	-۰,٥٥۰*	۰,۰۱۱	↓
چنبرغربال	-۱*	۰,۰۰۰۱	↓	کلاته شیخها	-۰,٦۹۸*	۰,۰۰۳	↓
حسن آباد ویرانی	-۰,۷۹٤*	۰,۰۰۰۱	↓	کلاته کریمخان	-۰,۸۰۱*	۰,۰۰۰۲	↓
خرم آباد	-۰,٤۷۳*	۰,۰۰٥	↓	کلاته نادر	-۰,۳۸٥n.s.	۰,۱۱۳	↓
دوغائی	-۰,٥٦۲*	۰,۰۱۸	↓	کنه بیست	-۰,۹٥۱*	۰,۰۰۰۱	↓
رضاآباد شرقی	-۱*	۰,۰۰۰۱	↓	کنوگرد	-۰,۷۷۲*	۰,۰۰۱	↓
ریاض	-۰,۹۷٥*	۰,۰۰۰۱	↓	گراب	-۰,٥۹٤*	۰,۰۰٦	↓
سرآسیاب فردوسی	-۰,٤٦٦*	۰,۰٤	↓	مزرعه نمونه	-۰,۹۳۷*	۰,۰۰۰۱	↓
سهل الدین	-۱*	۰,۰۰۰۱	↓	مسکران	-۰,۰۰٥n.s.	۰,۹۹۲	↓
سیدآباد	-۰,۸۹۲*	۰,۰۰۰۱	↓	مغان	-۰,۸٤۲*	۰,۰۰۰۱	↓
شفیع	-۰,۹۱۳*	۰,۰۰۰۱	↓	ملی	-۰,۸۱۰*	۰,۰۰۰۱	↓
شورچه	-۰,۷۰۰*	۰,۰۰۰۱	↓	مؤمن آباد	-۰,۹٤۱*	۰,۰۰۰۱	↓
شیرحصار	-۰,۹٥۱*	۰,۰۰۰۱	↓	نومهن	-۰,٤٥۸n.s.	۰,۰٥۸	↓
عباس آباد نهرآباد	-۰,۹۳۱*	۰,۰۰۰۱	↓	هاشم آباد	-۰,۲۰۲n.s.	۰,۳۷۳	↓
قاسم آباد	-۰,۲۸۸n.s.	۰,۱۱۲	↓	یکه لنگه	-۱*	۰,۰۰۰۱	↓

نتایج حاصل از آزمون همگنی پتیت برای تشخیص نقاط تغییر در سری زمانی شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی دشت مشهد–چناران در جدول ٤ نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی در سطح پنج درصد معنی دار است که نقطه تغییر آن‌ها بیشتر بین سال‌های ۷۷–۱۳۷٦ و ۷۸–۱۳۷۷ می‌باشد. به طور کلی در همه چاه‌های مشاهداتی نقطه تغییر کاهشی می‌باشد بجز در چاه‌های مشاهداتی بلوارتلویزیون و مسکران که نقطه تغییر افزایشی بوده و به ترتیب در سال‌های آبی ۷۰–۱۳٦۹ و ۸۷–۱۳۸٦ واقع شده است.

جدول٤ تغییرات ناگهانی در میانگین سری زمانی PSI چاه‌های مشاهداتی دشت مشهد – چناران درسطح معنی‌دار٪۵

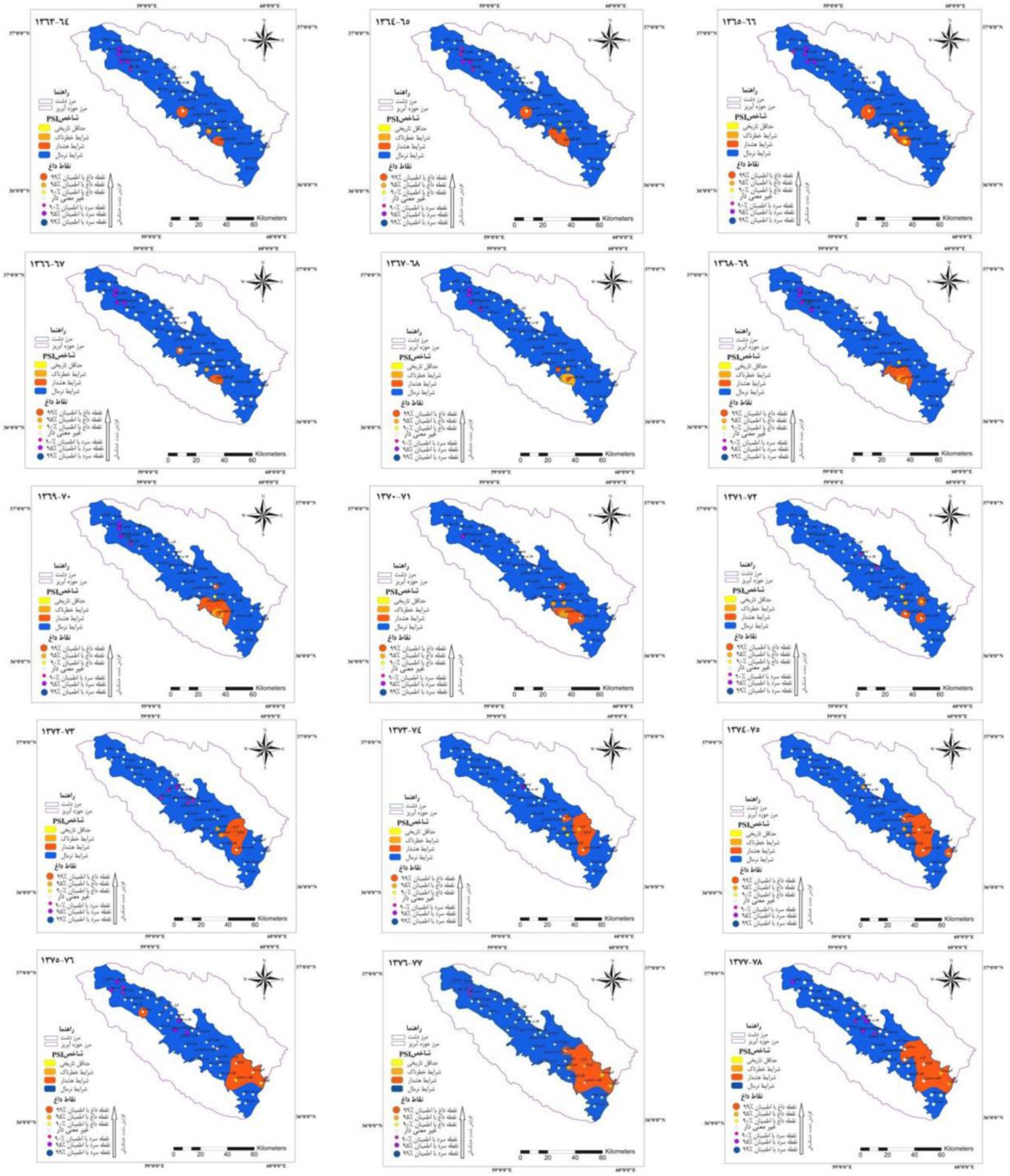
T	Shift	P	K_T	ایستگاه	T	Shift	P	K_T	ایستگاه
۱۳۸٤–۸۵	↓	۰,۰۰٤*	۱۳۰	قاسم آباد	۱۳۸۲–۸۳	↓	۰,۰۰۸*	۱٤۸	بحرآباد
۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹٦	قره جنگل	۱۳٦۹–۷۰	↑	۰,۰۰۰۲*	۱۸۰	بلوار تلویزیون
۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	قره چاه	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	تخم مرز
۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸۲	قزل حصار	۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹٦	تنگل شور – مرغ یردک
۱۳۷۳–۷٤	↓	۰,۰۰۰٤*	۱٦۲	قلعه ساختمان	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸۲	جیم آباد
۱۳۷۳–۷٤	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸٤	قوزقان	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	چمگرد
۱۳۷۹–۸۰	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹۲	کبیر	۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸۲	چنبرغربال
۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹٦	کلاته شیخها	۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹٦	حسن آباد ویرانی
۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸۲	کلاته کریمخان	۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۰٤	خرم آباد
۱۳۸٤–۸۵	↓	۰,۰۰۲*	۱٤۰	کلاته نادر	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	دوغائی
۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	کنه بیست	۱۳۷۵–۷٦	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸۲	رضاآباد شرقی
۱۳۷۸–۷۹	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹۵	کنوگرد	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	ریاض
۱۳۷۲–۷۳	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۵۸	گراب	۱۳۷۲–۷۳	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۷۲	سرآسیاب فردوسی
۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹٦	مزرعه نمونه	۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹٦	سهل الدین
۱۳۸٦–۸۷	↑	۰,۰۰۸*	۱۳۸	مسکران	۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۰۰	سیدآباد
۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	مغان	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸۲	شفیع
۱۳۷۷–۷۸	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۹٦	ملی	۱۳۷۸–۷۹	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۰۸	شورچه
۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	مؤمن آباد	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	شیرحصار
۱۳۸۱–۸۲	↓	۰,۰۰۰۱*	۱۸۲	نومهن	۱۳۷٦–۷۷	↓	۰,۰۰۰۱*	۲۱۰	عباس آباد نهرآباد
رو به پایین :↓ ; رو به بالا :↑ ; ۵ ٪ معنی دار در سطح: * ; غیر معنی دار: n.s.									

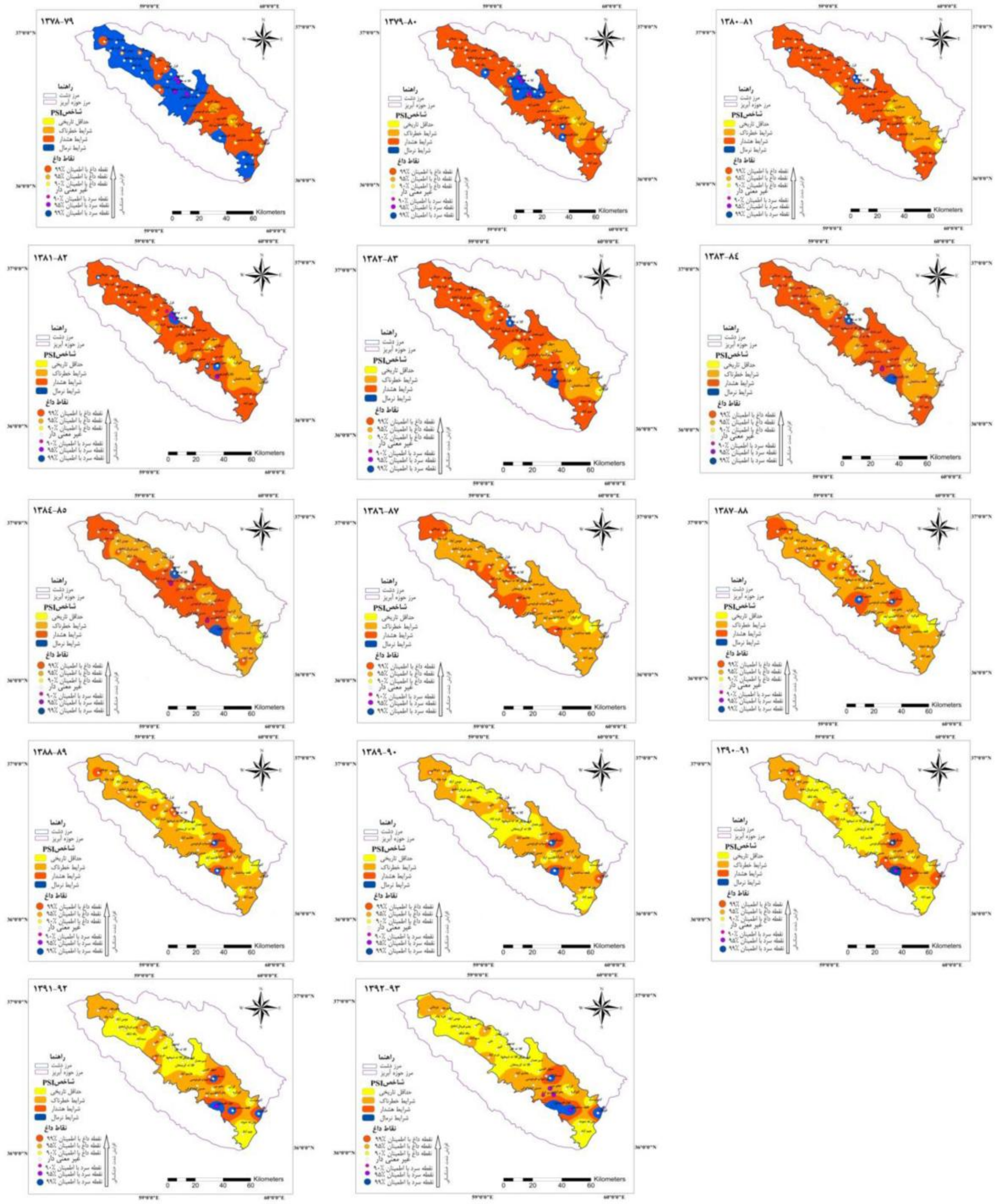
۳. ۲. ۱. پهنه‌بندی و تعیین نقاط داغ شاخص PSI

در شکل (۳) نقشه‌های پهنه‌بندی شده شاخص PSI در دوره آماری به روش IDW نشان داده شده است. با بررسی نقاط داغ می‌توان چاه‌هایی را که در محدوده‌های حدی[1] (حداقل تاریخی یا شرایط نرمال) قرار می‌گیرند از سایر چاه‌های مشاهده‌ای تفکیک نمود که نمونه آن را می‌توان در نقشه‌های میان یابی شده مربوط به سال‌های ۷۹–۷۸، ۸۰–۷۹، یا ۹۳–۹۲ مشاهده نمود. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند که شاخص PSI در دشت مورد مطالعه از سال‌های ٦٤–۱۳٦۳ تا ۷۹–

1 Extreme boundaries

۱۳۷۸ بیشتر در شرایط نرمال قرار گرفته و از سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ هر چه به سمت حال حاضر پیش می‌رویم شاخص PSI در دشت مطالعاتی در طبقه شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. به طوری که در سال‌های ۹۱-۱۳۹۰، ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ شرایط حداقل تاریخی در دشت مشهد-چناران بوضوح قابل مشاهده است.





شکل ۳ نقشه‌های میانیابی شده شاخص PSI به روش IDW برای دوره آماری ٦٤-١٣٦٣ تا ۹۳-۱۳۹۲ دشت مشهد- چناران

۳,۳. تحلیل همبستگی بین دو شاخص SPI و PSI

به منظور بررسی نحوه تاثیرگذاری خشکسالی بر تغییرات منابع آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران، از همبستگی و تحلیل رگرسیون بین دو نقشه SPI و PSI در مناطق مشترک در محیط نرم افزار Statistica استفاده شد (جدول ۵). کارایی استفاده از این روش در مطالعات مشابه نیز (سبزی پرور و کاظمی، ۱۳۸۹؛ ۱۱۱-۹۹، کریمی و همکاران، ۱۳۹۰؛ ۲۸-۱۵) تاکید و بررسی شده است. به منظورارزیابی قدرت همبستگی بین دو متغیر از طبقه بندی ارائه شده توسط اوانس[1] (۱۹۹۶) استفاده شد.

جدول ۵ تحلیل همبستگی بین شاخص‌های SPI بدون تأخیر، با یک و دو سال تأخیر و PSI برای ۳۰ سال دوره آماری

ضریب همبستگی (r) درجه همبستگی	سال (SPI)	ضریب همبستگی (r) درجه همبستگی	سال (SPI)	ضریب همبستگی (r) درجه همبستگی	سال (SPI)
شاخص PSI		شاخص PSI		شاخص PSI	
۶۵-۶۶	۶۵-۶۶	۶۴-۶۵	۶۴-۶۵	۶۳-۶۴	۶۳-۶۴
۰,۱۰۰۹ خیلی ضعیف		۰,۰۱۲۳ خیلی ضعیف		۰,۰۹۹۲ خیلی ضعیف	
۶۶-۶۷		۶۵-۶۶		۶۴-۶۵	
۰,۰۲۶ خیلی ضعیف		-۰,۰۸۳ خیلی ضعیف		۰,۰۸۵۸ خیلی ضعیف	
۶۷-۶۸		۶۶-۶۷		۶۵-۶۶	
۰,۰۳۹۷ خیلی ضعیف		-۰,۱۶۳ خیلی ضعیف		۰,۰۱۴ خیلی ضعیف	
۶۸-۶۹	۶۸-۶۹	۶۷-۶۸	۶۷-۶۸	۶۶-۶۷	۶۶-۶۷
-۰,۱۴۸۴ خیلی ضعیف		-۰,۰۵۹۹ خیلی ضعیف		۰,۰۲۶ خیلی ضعیف	
۶۹-۷۰		۶۸-۶۹		۶۷-۶۸	
-۰,۱۷۱ خیلی ضعیف		-۰,۲۱۵ ضعیف		۰,۰۳۹۷ خیلی ضعیف	
۷۰-۷۱		۶۹-۷۰		۶۸-۶۹	
-۰,۱۸۶ خیلی ضعیف		-۰,۲۴۱ ضعیف		۰,۰۵۳۲ خیلی ضعیف	
۷۱-۷۲	۷۱-۷۲	۷۰-۷۱	۷۰-۷۱	۶۹-۷۰	۶۹-۷۰
-۰,۴۸۸۵ متوسط		۰,۲۴۰۵ ضعیف		-۰,۲۸۳۰ ضعیف	
۷۲-۷۳		۷۱-۷۲		۷۰-۷۱	
-۰,۴۹ متوسط		۰,۴۷ متوسط		-۰,۱۶۵ خیلی ضعیف	
۷۳-۷۴		۷۲-۷۳		۷۱-۷۲	
-۰,۵۸ متوسط		۰,۵۳۸ متوسط		۰,۰۷۹۷ خیلی ضعیف	
۷۴-۷۵	۷۴-۷۵	۷۳-۷۴	۷۳-۷۴	۷۲-۷۳	۷۲-۷۳
۰,۴۱۷۸ متوسط		-۰,۵۹۸۳ قوی		-۰,۰۸۷۴ خیلی ضعیف	
۷۵-۷۶		۷۴-۷۵		۷۳-۷۴	
۰,۶۶۸ قوی		-۰,۵۳ متوسط		-۰,۱۱ خیلی ضعیف	
۷۶-۷۷		۷۵-۷۶		۷۴-۷۵	

1 Evans

۰٫۶۳۳ قوی		-۰٫۴۵ متوسط		خیلی ضعیف	
۷۷-۷۸	۷۷-۷۸	۷۶-۷۷	۷۶-۷۷	۷۵-۷۶	۷۵-۷۶
-۰٫۳۱۵۶ ضعیف		-۰٫۵۲۵۷ متوسط		۰٫۱۵۶۴ خیلی ضعیف	
۷۸-۷۹		۷۷-۷۸		۷۶-۷۷	
-۰٫۰۴ خیلی ضعیف		-۰٫۶ قوی		۰٫۱۴۸ خیلی ضعیف	
۷۹-۸۰		۷۸-۷۹		۷۷-۷۸	
-۰٫۰۱۸ خیلی ضعیف		-۰٫۴۷ متوسط		۰٫۲۸۶ ضعیف	
۸۰-۸۱	۸۰-۸۱	۷۹-۸۰	۷۹-۸۰	۷۸-۷۹	۷۸-۷۹
۰٫۴۳۵۵ متوسط		-۰٫۶۸۹۸ قوی		۰٫۰۰۳۹ خیلی ضعیف	
۸۱-۸۲		۸۰-۸۱		۷۹-۸۰	
۰٫۳۵۹ ضعیف		-۰٫۶۰۹ قوی		۰٫۰۴۸ خیلی ضعیف	
۸۲-۸۳		۸۱-۸۲		۸۰-۸۱	
۰٫۳۲ ضعیف		-۰٫۴۶ متوسط		۰٫۱۱۵ خیلی ضعیف	
۸۳-۸۴	۸۳-۸۴	۸۲-۸۳	۸۲-۸۳	۸۱-۸۲	۸۱-۸۲
۰٫۳۸۹۹ ضعیف		۰٫۰۹۸ خیلی ضعیف		۰٫۴۸۵۹ متوسط	
۸۴-۸۵		۸۳-۸۴		۸۲-۸۳	
۰٫۳۵۵ ضعیف		-۰٫۰۹۵ خیلی ضعیف		۰٫۴۲۶ متوسط	
۸۵-۸۶		۸۴-۸۵		۸۳-۸۴	
-		-۰٫۱۸۸ خیلی ضعیف		۰٫۳۳ ضعیف	
۸۶-۸۷	۸۶-۸۷	۸۵-۸۶	۸۵-۸۶	۸۴-۸۵	۸۴-۸۵
-۰٫۲۴۰۶ ضعیف		-		-۰٫۳۷۷۶ ضعیف	
۸۷-۸۸		۸۶-۸۷		۸۵-۸۶	
۰٫۰۳۱۱ خیلی ضعیف		۰٫۱۷۸ خیلی ضعیف		-	
۸۸-۸۹		۸۷-۸۸		۸۶-۸۷	
۰٫۱۶۲۹ خیلی ضعیف		۰٫۰۲۲۷ خیلی ضعیف		-۰٫۲۱۵ ضعیف	
۸۹-۹۰	۸۹-۹۰	۸۸-۸۹	۸۸-۸۹	۸۷-۸۸	۸۷-۸۸
-۰٫۲۲۰۳ ضعیف		۰٫۰۶۲۵ خیلی ضعیف		-۰٫۳۰۶۶ ضعیف	
۹۰-۹۱		۸۹-۹۰		۸۸-۸۹	
-۰٫۳۲۴۹ ضعیف		-۰٫۰۶۴۲ قوی		-۰٫۲۳۵۹ ضعیف	
۹۱-۹۲		۹۰-۹۱		۸۹-۹۰	
-۰٫۴۰۰۷ متوسط		-۰٫۱۰۰۹ خیلی ضعیف		-۰٫۰۷۹۸ خیلی ضعیف	
۹۲-۹۳	۹۲-۹۳	۹۱-۹۲	۹۱-۹۲	۹۰-۹۱	۹۰-۹۱
۰٫۴۳۴۹ متوسط		۰٫۲۲۳۰ ضعیف		-۰٫۳۲۱۷ ضعیف	
		۹۲-۹۳		۹۱-۹۲	
		۰٫۲۲۳ ضعیف		-۰٫۳۲۰۱ ضعیف	
				۹۲-۹۳	
				-۰٫۳۶۰۸ ضعیف	

نتایج تحلیل همبستگی بین دو شاخص SPI و PSI نشان می‌دهد که در اکثر موارد و سال‌ها ارتباط ضعیفی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی وجود دارد و در واقع نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین این دو پدیده در دشت مشهد - چناران ارائه داد. با بررسی ضرایب همبستگی متوسط به بالا بین دو

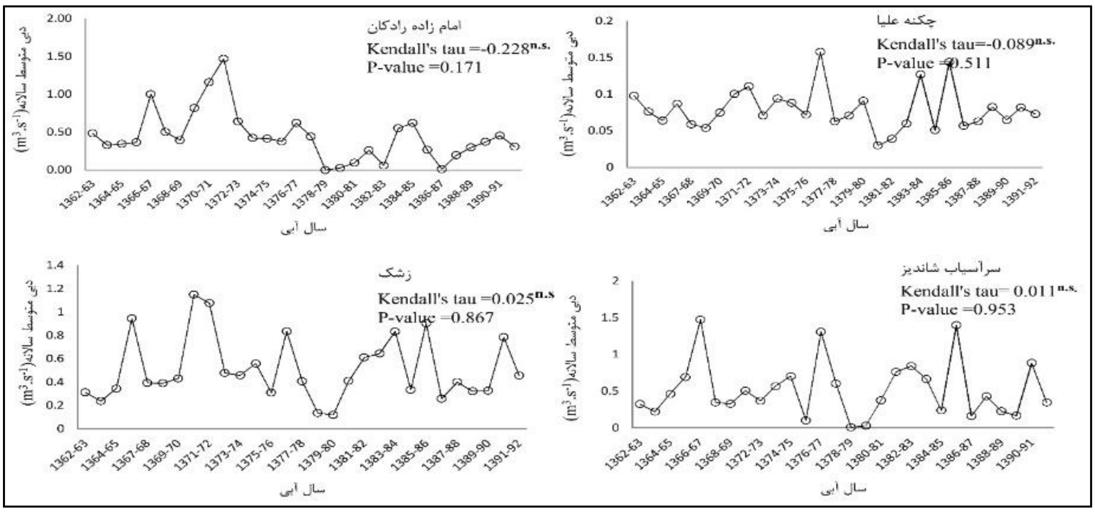
شاخص SPI و PSI مشخص می‌شود که در اکثر موارد این ارتباط از نوع معکوس می‌باشد. به عنوان مثال ضریب همبستگی بین شاخص SPI در سال ۷۲-۷۱ با شاخص PSI همان سال و سال ۷۳-۷۲ و ۷٤-۷۳ به ترتیب برابر با ۰٫٤۹-، ۰٫٤۹- و ۰٫٥۸- می‌باشد. مشابه این ارتباط نیز بین شاخص SPI سال ۷٤-۷۳ با شاخص PSI سال‌های ۷٤-۷۳، ۷٥-۷٤ و ۷٦-۷٥ مشاهده می‌گردد. البته ذکر این نکته ضروری است که منطقه مطالعاتی در سال‌های ۷۲-۷۱ تا ۷٦-۷٥ شرایط نرمالی را در هر دو مورد خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی تجربه کرده است. بین شاخص SPI سال ۷۷-۷٦ با شاخص PSI در سال‌های ۷۸-۷۷ و ۷۹-۷۸ نیز همین ارتباط معکوس وجود دارد. یعنی با کاهش شدت خشکسالی هواشناسی، خشکسالی آب زیرزمینی نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش نیز می‌یابد. این بدان معنی است که عملاً کنترل تغییرات خشکسالی آب زیرزمینی در این سال‌ها در اختیار تغییرات خشکسالی هواشناسی نبوده و باید علل دیگری را جستجو نمود. حتی در برخی از سال‌ها که منطقه به لحاظ خشکسالی هواشناسی شرایط خشکی را تجربه نموده است (به عنوان مثال سال‌های ۸۰-۷۹ و ۹۰-۸۹) نیز نمی‌توان ارتباط مستقیمی را بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی برقرار نمود و این ارتباط حتی بین خشکسالی هواشناسی ۸۰-۷۹ با خشکسالی آب زیرزمینی ۸۰-۷۹ و ۸۱-۸۰ از نوع معکوس و قوی می‌باشد (با ضرایب همبستگی ۰٫٦۹- و ۰٫٦۱-). اما در برخی از سال‌ها می‌توان ارتباط مستقیم متوسطی را بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی یافت نمود. به عنوان مثال شاخص SPI در سال ۹۳-۹۲ با شاخص PSI در همان سال با ضریب همبستگی ۰٫٤۳ ارتباط مستقیمی را برقرار می‌نماید که شاید دلیل آن امتداد و پیوستگی شرایط خشکسالی هواشناسی در سال‌های قبل باشد. تقویت ضرایب همبستگی در مواردی که ارتباط بین خشکسالی آب زیرزمینی با خشکسالی هواشناسی با یک یا دو سال تأخیر برقرار گردید نشان دهنده این است که شاخص‌های هیدروژئولوژیکی با شاخص‌های خشکسالی در بسیاری از موارد همزمانی ندارند، به این دلیل که در تبدیل فرآیند بارش به عنوان اصلی‌ترین شاخص هواشناسی به رواناب و پس از آن فرآیند نفوذ و پیوستن آن به منابع آب زیرزمینی عوامل دیگری از جمله ساختار زمین شناسی منطقه و میزان نفوذپذیری سازندهای موجود در منطقه نیز نقش زیادی ایفا می‌کنند (یاسمنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ شکیبا و همکاران، ۱۳۸۹: ۲٥؛ ایمانی و همکاران، ۱۳۹۰: مندسینو[1] و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۰۲-۲۸۲).

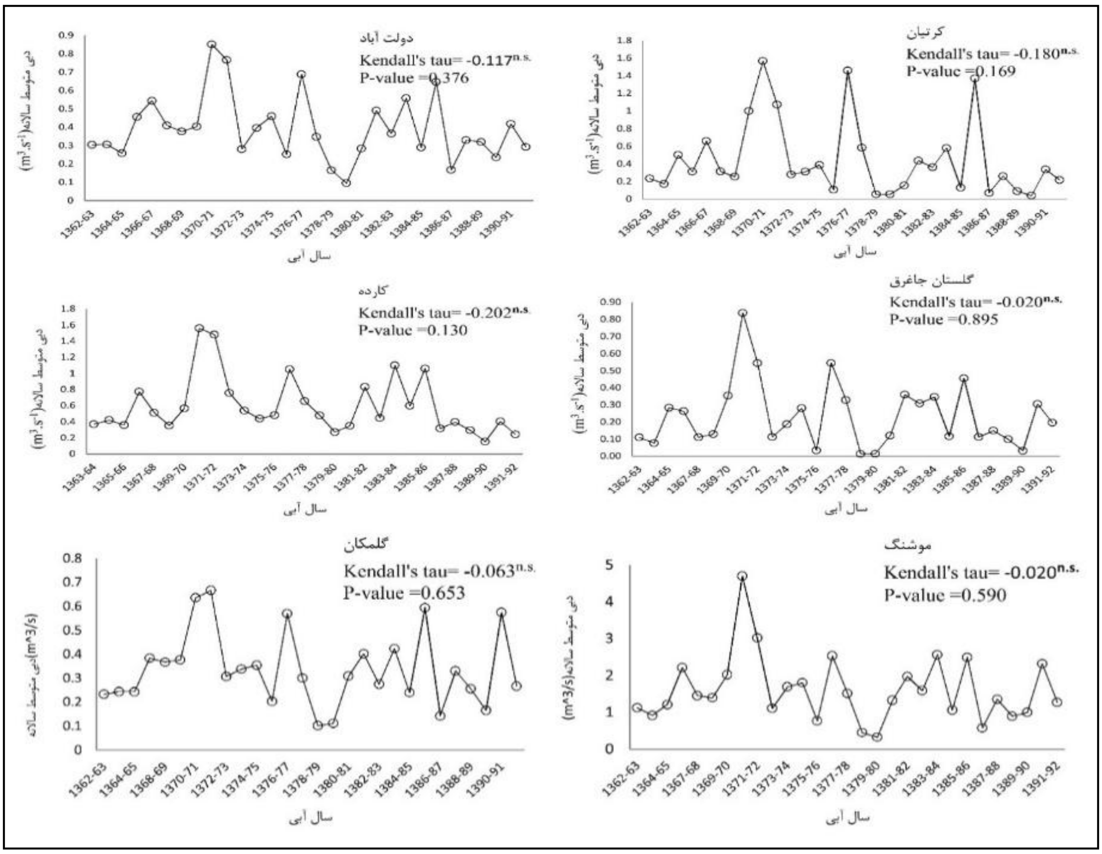
آبخوان دشت مشهد – چناران دارای ظرفیت تجدیدشونده آب زیرزمینی ۹٥۰ میلیون مترمکعب است که در حال حاضر سالانه ۱۰۷٥ میلیون مترمکعب از آن تخلیه می‌گردد. به دلیل میزان کسری مخزن که ۱۲٥ میلیون مترمکعب

1 Mendicino

گزارش شده بیلان آبخوان منفی است (بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۹; شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹). با توجه به اینکه بیلان آبخوان منفی است و از سویی دیگر نمی‌توان ارتباط قوی معنی داری را بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی برقرار کرد، باید به دنبال دلایل دیگری مرتبط با خشکسالی آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران بود. همانطور که در شکل شماره ۸ دیده می‌شود و بر اساس تحلیل سری‌های زمانی دبی سالیانه آب مهمترین رودخانه‌های تغذیه کننده دشت مشهد در محل ایستگاه‌های هیدرومتری زشک، گلمکان، امامزاده رادکان، گلستان-جاغرق، دولت آباد-خرم دره، موشنگ، سرآسیاب شاندیز، چکنه علیا، کرتیان و کارده می‌توان دریافت که در کلیه ایستگاه‌ها بر اساس آماره Kendall's tau روند تغییرات دبی کاهشی است ولی به لحاظ آماری در سطح ۵٪ معنی دار نمی‌باشد. پس باز هم نمی‌توان ارتباط معنی دار قوی بین خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی برقرار نمود.

با توجه به شکل (۵-الف) سطح آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران از سال ۱۳٦٤ تا سال ۱۳۹۳ بیشتر از ۲۵ متر افت را تجربه کرده که بیشترین آن در بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ (بالغ بر ٦ متر افت) مشاهده شده است. همانطور که در شکل (۵-ب) نشان داده شده است تعداد حفر چاه در طول این چهار سال ۱۰٥٤ حلقه می‌باشد که بیشترین میزان حفر چاه را در طول دوره آماری دارا می‌باشد. همچنین در طول این دوره آبخوان مورد مطالعه بالغ بر ۸۱۱ میلیون متر مکعب کاهش حجم را تجربه کرده که بر اساس آمار مشاهداتی نیز بیشترین میزان افت سطح و کاهش حجم در بین سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲ مشاهده گردید. به دلیل افت سطح آب زیرزمینی و برداشت بی رویه این دشت جزء دشت‌های ممنوعه اعلام گردیده و در حالت بحرانی قرار گرفته است (دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی، ۱۳۸۸). بنابراین نمی‌توان گفت که خشکسالی های اخیر و کاهش ریزش‌های جوی مهم‌ترین دلیل در پایین رفتن سطح آب زیرزمینی دشت مشهد- چناران بوده است. این نتایج با یافته‌های تحقیقاتی رضوانیان و همکاران (۱۳۹۲) و نورمحمدی و معماریان (۱۳۹٤) نیز همخوانی دارد.



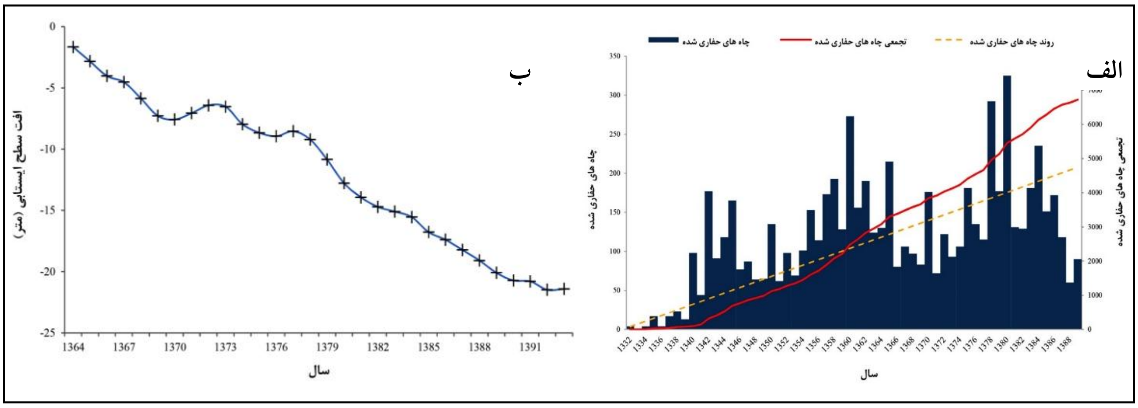


شکل٤ دبی متوسط سالیانه ایستگاه‌های مستقر بر رودخانه‌های مهم تغذیه کننده دشت مطالعاتی طی دوره آماری١٣٩٢-١٣٦٠ (بر حسب متر مکعب در سال)

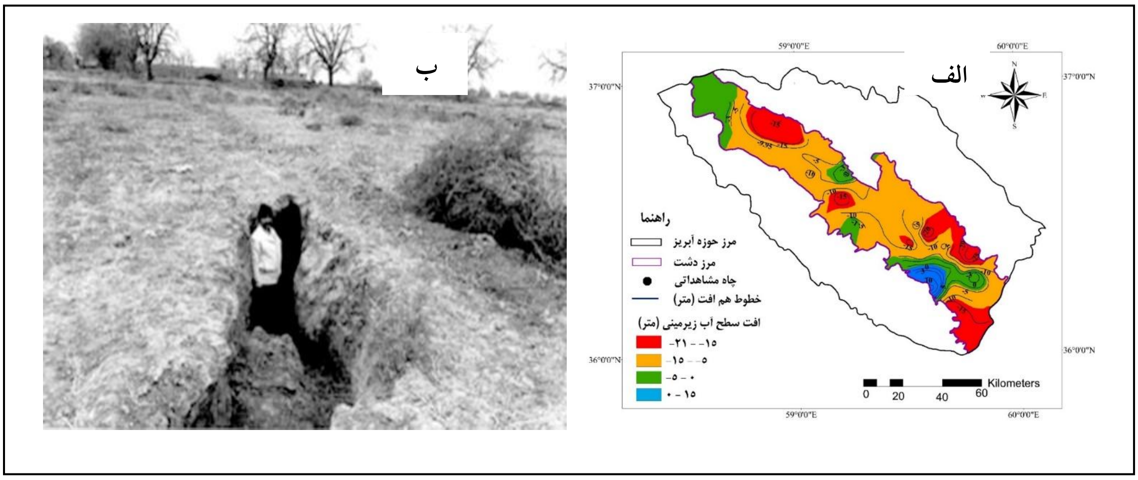
با استفاده از نتایج اندازه گیری سطح آب زیرزمینی در ده سال (٧٦-١٣٧٥ لغایت ٨٦-١٣٨٥) و نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی مشخص می‌شود که میزان افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت مشهد متناسب با میزان بهره برداری توسط چاه‌ها و تغذیه آبخوان در نقاط مختلف می‌باشد (بهنیافر و همکاران، ١٣٨٩). با توجه به نقشه هم افت آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران (شکل ٦-الف) ملاحظه می‌شود که میزان افت سطح ایستابی آب در بعضی از قسمت‌های دشت مانند محدوده روستای حسن خوردو و یا منطقه طوس تا ٢١ متر در طول دوره آماری نیز به ثبت رسیده است. شکل شماره (٦-ب) عمق نشست و درز و شکاف حاصل از تخلیه آبخوان را در محدوده دشت مشهد (روستای حسن خوردو) نشان می‌دهد.

از معضلات برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی این دشت می‌توان به تبدیل چاه‌های نیمه عمیق به عمیق، غیر اقتصادی شدن برداشت آب، خشک شدن قنات‌ها، پیش‌روی آب‌های شور بسمت آب‌های شیرین، شور شدن

خاک و نابودی مزارع و باغ‌ها، نشست زمین و از میان رفتن همیشگی قابلیت جذب آب در سفرهٔ آب زیرزمینی و تشدید روند بیابان‌زایی اشاره کرد (سربازی، ۱۳۸۸؛ بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۹).



شکل ۵ نمودارمیانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مشهد-چناران (مدیریت منابع آب ایران، ۹۲) (الف) و تعداد چاه‌های حفاری شده از سال ۱۳۳۲ تا ۱۳۸۹ (ب)



شکل ٦ نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی دشت مشهد چناران (الف) و عمق نشست و درز و شکاف دیوار ناشی از نشست زمین در دشت مشهد (ب) (لشکری‌پور و همکاران، ١٣٨٤)

٤. نتیجه‌گیری

تحلیل سری زمانی شاخص SPI در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳٦۳ با استفاده از آزمون مان-کندال ثابت می‌کند که در تمامی ایستگاه‌ها بجز ایستگاه اندرخ تغییرات تدریجی موجود در سطح پنج درصد معنی‌دار نیست. تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص SPI نیز در کلیه ایستگاه‌ها بجز اندرخ و دولت آباد خرم دره در سطح پنج درصد معنی دار نمی‌باشد. درنتیجه می‌توان اظهار داشت که حوزه آبخیز مشهد – چناران حداقل در طی سه دهه اخیر

تغییرات تدریجی محسوسی را در میزان بارش و خشکسالی هواشناسی در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه تجربه نکرده است. اما تغییرات تدریجی سری زمانی شاخص PSI در اکثر چاه‌های مشاهداتی معنی‌دار است. تغییرات ناگهانی سری زمانی شاخص PSI چاه‌های مشاهداتی نیز در سطح پنج درصد معنی دار بوده که نقطه تغییر آن‌ها بیشتر کاهشی و بین سال‌های ۷۷-۱۳۷۶ و ۷۸-۱۳۷۷ می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی نشان می‌دهند که شاخص PSI در دشت مورد مطالعه از سال‌های ٦٤-١٣٦٣ تا ۷۹-۱۳۷۸ بیشتر در شرایط نرمال قرار گرفته و از سال‌های ۷۹-۱۳۷۸ هر چه به سمت حال حاضر پیش می‌رویم شاخص PSI در دشت مطالعاتی در طبقه شرایط خطرناک و حداقل تاریخی قرار می‌گیرد. به طوری که در سال‌های ۹۱-۱۳۹۰، ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ شرایط حداقل تاریخی در دشت مشهد-چناران به‌وضوح قابل مشاهده است. نتایج تحلیل همبستگی بین دو شاخص خشکسالی SPI و PSI نشان می‌دهد که در اکثر موارد و سال‌ها ارتباط ضعیفی بین خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی وجود دارد و در واقع نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین این دو پدیده در دشت مشهد – چناران ارائه داد. این بدان معنی است که عملاً کنترل تغییرات خشکسالی آب زیرزمینی در این سال‌ها در اختیار تغییرات خشکسالی هواشناسی نبوده و باید علل دیگری را جستجو نمود. حتی در برخی از سال‌ها که منطقه به لحاظ خشکسالی هواشناسی شرایط خشکی را تجربه نموده است (به عنوان مثال سال‌های ۸۰-۷۹ و ۹۰-۸۹) نیز نمی‌توان ارتباط مستقیمی را بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی آب زیرزمینی برقرار نمود. همچنین بر اساس تحلیل سری-های زمانی دبی سالیانه آب مهم‌ترین رودخانه‌های تغذیه کننده (که نشان دهنده روندی غیر معنی دار در دوره مطالعاتی است) باز هم نمی‌توان ارتباط معنی‌دار قوی بین خشکسالی هیدرولوژیکی و خشکسالی آب زیرزمینی در منطقه برقرار نمود. بنابراین بر اساس تحلیل‌های انجام شده و آمار موجود، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را می‌توان عامل اصلی افت سطح سفره معرفی کرد که باعث فرونشست و پیش‌روی آب‌های شور به سمت آب‌های شیرین دردشت مشهد شده است. نتایج اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در ده سال ۷٦-۷۵ تا ۸٦-۸۵ و نقشه هم افت سطح آب زیرزمینی نیز نشان می‌دهد که میزان افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی دشت مشهد – چناران، متناسب با میزان بهره‌برداری توسط چاه‌ها و تغذیه آبخوان است.

کتابنامه

ایمانی، مهناز؛ طالبی اسفندارانی، علی؛ ۱۳۹۰. بررسی آثار خشکسالی بر تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی دشت بهاباد یزد با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. صص ۱۲-۱.

بهنیافر، ابولفضل؛ قنبرزاده، هادی؛ اشراقی، علی؛ ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن. فصل نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم انداز زاگرس. سال دوم. شماره ۵. پاییز ۱۳۸۹. صص ۱۳۲-۱٤٦.

ترشیزیان، حبیب اله؛ آقابیگی، محمد؛ برزکار، اسماعیل؛ ۱۳۸٦. امکان استفاده از قنوات مترو که جهت تغذیه مصنوعی آب-های زیرزمینی در دشت مشهد. شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی کمیته تحقیقات. صص ۱٤۰-۱.

جهانی، سمانه؛ دلبری، معصومه؛ ۱۳۸۸. ارزیابی و برآورد بیشترین بارش ۲٤ ساعته در استان گلستان، همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸. صص ۹-۱.

حسنی‌پاک، علی اصغر؛ ۱۳۹۲. زمین آمار (ژئواستاتیستیک)، دانشگاه تهران. صص ۳۲۸-۱.

دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی؛ ۱۳۸۸. گزارش پیشنهاد تمدید ممنوعیت دشت مشهد. صص ٤۸-۱.

رضوانیان، سمیه؛ اسدی، تورج؛ گودرزی، حسام الدین؛ ۱۳۹۲. بررسی تأثیر خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی دشت مشهد. سومین همایش ملی سلامت محیط زیست توسعه پایدار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس. صص ۱٦-۱.

زارع ابیانه، حمید؛ بیات ورشکی، مریم. و معروفی، صفر؛ ۱۳۹۱. بررسی نوسانات عمق آب زیرزمینی در دشت ملایر، نشریه دانش آب و خاک، شماره ۲۲. صص ۱۷۳-۱۹۰.

طائی سمیرمی، مجید؛ فاتحی‌مرج، احمد؛ میرنیا، سید خلاق؛ ۱۳۹۱. بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بر توزیع زمانی و مکانی خشکسالی های هیدروژئولوژیک با استفاده از شاخص حالت پیزومتریک (مطالعه موردی: دشت گربایگان، استان فارس)"، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال هشتم، شماره ۱، بهار و تابستان. صص ۸۹-۸٦

سبزی‌پرور، علی اکبر؛ کاظمی، آزاده؛ معروفی، صفر؛ غفوری، محمد؛ بذرافشان؛ ۱۳۸۹. ارزیابی تطبیقی هفت نمایه خشکسالی هواشناسی با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای، مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره دوازدهم، شماره یک، بهار. صص ۱۱۱-۹۷.

سلاجقه، علی؛ نجفی حاجی‌پور، منصور؛ و فتح آبادی، ابوالحسن؛ ۱۳۸۸. تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و زنجیره مارکوف مطالعه موردی: استان چهار محال و بختیاری، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. صص ۱۸-۱.

سربازی، محبوبه؛ مهدوی، محمد؛ فیض نیا، سادات؛ و قزل سوفلو، عباسعلی؛ ۱۳۸۸. پهنه‌بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. صص ۸۸-۱.

سلیمانی، مهدی؛ قاسمیه، هدی؛ ساداتی نژاد، سیدجواد؛ میرزاوند، محمد؛ ۱۳۹۲. بررسی اثر خشکسالی هیدرولوژیک بر نوسانات آب زیرزمینی با استفاده از شاخص PSI، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی – انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران. صص ۹-۱.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی؛ ۱۳۸۹. گزارش تعیین وضعیت آب زیرزمینی دشت مشهد. صص ٦۳-۱.

شکیبا، علیرضا؛ میرباقری، بابک؛ خیری، افسانه؛ ۱۳۸۹. خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI، جغرافیا، فصلنامه علمی – پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، شماره ۸ صص ۲۰-۱.

کریمی، ولی‌الله؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ آبکار، علی جان؛ ۱۳۹۰. بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه-های سینوپتیک مازندران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم. شماره ۵ پاییز. صص ٤۳-۲۱.

صفائی، حمید؛ اصغری، کیوان. و صفوی، حمیدرضا؛ ۱۳۹۲. مقایسهٔ شاخص خشکسالی منابع آب زیرزمینی (GRI) با شاخص بارش استاندارد (SPI) مطالعه موردی: آبخوان کوهپایه- سگزی، هفتمین کمگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان ۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ماه. صص ۱۳-۱.

گرجستانی، کیان؛ اخترپور، علی؛ ابریشمی، سعید؛ ١٣٩٤. مطالعه آزمایشگاهی و عددی تأثیر افزایش رطوبت ناشی از بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی مشهد بر پایداری، یک گود پایدار سازی به روش Anchorage، پایان نامه کارشناسی ارشد، پردیس دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد. صص ۱۱۱-۱.

لشگری‌پور، غلامرضا؛ سویزی، زینب؛ پیوندی، زکیه؛ ١٣٨٤. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد، مجموعه مقالات همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران. صص ۱۵-۱.

مقدم، علیرضا؛ قلعه‌بان‌تکمه‌داش، میلاد؛ اسماعیلی، کاظم؛ ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای کیفی آب دشت مشهد با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲. صص ۲۱۱-۲۲۵.

مساعدی، ابوالفضل؛ کوهستانی؛ نسیرین؛ ۱۳۸۹. تحلیل روند تغییرات دبی رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، چهارمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. صص ۱۸-۱.

نادریان‌فر، محمد؛ انصاری، حسین؛ ضیایی، علی‌قلی؛ داوری، کامران؛ ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات و نوسانات سطح آب زیرمینی در حوزه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، سال اول، شماره ۳، بهار ۱۳۹۰. صص ۲۲-۳۷.

نورمحمدی، سمیرا؛ معماریان، هادی؛ ١٣٩٤. بحران آب دشت مشهد، عوامل، پیامدها و راهکارها، اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران. صص ١٤-١

یاسمنی، سمانه؛ محمدزاده، حسین؛ مساعدی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۱. بررسی اثر خشکسالی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت تربت جام- فریمان با بکارگیری شاخص‌های SPI و GRI. شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. صص ۱- ۷.

وردی پورآزاد، آیلین؛ آذرخشی، مریم؛ مساعدی، ابولفضل؛ فرزادمهر، جلیل؛ ۱۳۹۳. بررسی اثر خشکسالی هواشناسی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت مشهد با استفاده از شاخص‌های SPI و GRI. کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راه‌-کارها و چالش‌ها، تبریز. صص ۱۹-۱.

Bacanli, U. G., Firat, M., & Dikbas, F. (2009). Adaptive neuro-fuzzy inference system for drought forecasting. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 23(8), 1143-154.

Brooks C.E.P., Camthers N. (1982). Handbook of Statistical Method Meteorology, London, H.M.S.O. 401-412.

Chaudhuri, S., & Ale, S. (2014). Long-term (1930–2010) trends in groundwater levels in Texas: influences of soils, landcover and water use. Science of the Total Environment, 490, 379-390.

Evans, J. (1996). Straightforward statistics for the behavioral sciences: Brooks/Cole Pub Co. 26, 106-114.

Gao, Z. L., Fu, Y. L., Li, Y. H., Liu, J. X., Chen, N., & Zhang, X. P. (2012). Trends of streamflow, sediment load and their dynamic relation for the catchments in the middle reaches of the Yellow River over the past five decades. Hydrology and Earth System Sciences, 16(9), 3219-3231.

Hamed, K. H., Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, 204(1-4), 182-196.

Javidi Sabbaghian, R., & Sharifi, M. B. (2009). Random modeling application in river flow simulation and estimation of mean annual river discharge by time series analysis. In International conference on water resources (ICWR). Shahrood, Iran, 15-17.

Jan, C. D., Chen, T. H., & Lo, W. C. (2007). Effect of rainfall intensity and distribution on groundwater level fluctuations. Journal of hydrology, 332(3), 348-360.

Khan, S., Gabriel, H. F., & Rana, T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrigation and Drainage Systems, 22(2), 159-177.

Martin-Vide, J., & Gomez, L. (1999). Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells. International Journal of climatology, 19(5), 537-555.

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 245-259.

Kendall M. G. (1948). Rank correlation methods.

Mendicino, G., Senatore, A., & Versace, P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a mediterranean climate. Journal of Hydrology, 357(3), 282-302.

Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sood, A. M., & Abbaspour, K. C. (2012). Trend analysis of water discharge and sediment load during the past three decades of development in the Langat basin, Malaysia. Hydrological Sciences Journal, 57(6), 1207-1222.

Memarian, H., Bilondi, M. P., & Rezaei, M. (2016). Drought prediction using co-active neuro-fuzzy inference system, validation, and uncertainty analysis (case study: Birjand, Iran). Theoretical and applied climatology, 125(3-4), 541-554.

Principe, J. C., Lefebvre, W. C., Lynn, G., Fancourt, C., & Wooten, D. (2007). NeuroSolutions-Documentation, the Manual and On-Line Help. 33-41.

Mitchell, A. (2005). The ESRI guide to GIS analysis volume 2: Spatial measurement and statistics. 24-29.

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Boston, MA: American Meteorological Society. 17(22), 179-183.

Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought. Washington, DC: US Department of Commerce, Weather Bureau. 30(6), 44-52.

Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. Applied statistics, 126-135

Watson, D. F., & Philip, G. M. (1985). A refinement of inverse distance weighted interpolation. Geo-processing, 2(4), 315-327.

Shahid, S., & Hazarika, M. K. (2010). Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. Water resources management, 24(10), 1989-2006

Shafer, B. A., & Dezman, L. E. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In Proceedings of the western snow conference. Colorado State University Fort Collins CO. 50, 164-175.

Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of hydrology, 259(1), 254-271.

Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of hydrology, 259(1), 254-271.

Zhang, X., Zhang, L., Zhao, J., Rustomji, P., & Hairsine, P. (2008). Responses of streamflow to changes in climate and land use/cover in the Loess Plateau, China. Water Resources Research, 44(7), 124-131.